

DialogClassic Web (tm) - Copy/Paste WindowDIALOG(R)File 351:Derwent WPI  
(c) 2004 Thomson Derwent. All rts. reserv.

010562018 \*\*Image available\*\*

WPI Acc No: 1996-058971/199607

XRAM Acc No: C96-019666

XRPX Acc No: N96-049194

Reliable system for monitoring laser welding system without nozzle restrictions - by comparing a frequency filtered capacitance based monitoring signal with a predetermined signal and producing a corrective action.

Patent Assignee: PRECITEC GMBH (PREC-N)

Inventor: JAGIELLA M; WIESEMAN W

Number of Countries: 001 Number of Patents: 002

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
DE 4423409	A1	19960111	DE 4423409	A	19940704	199607 B
DE 4423409	C2	19980312	DE 4423409	A	19940704	199814

Priority Applications (No Type Date): DE 4423409 A 19940704

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan	Pg	Main IPC	Filing Notes
-----------	------	-----	----	----------	--------------

DE 4423409	A1	6	B23K-026/00		
------------	----	---	-------------	--	--

DE 4423409	C2	6	B23K-026/00		
------------	----	---	-------------	--	--

Abstract (Basic): DE 4423409 A

Processing a workpiece (4) by laser welding apparatus (3), with the use of a sensor electrode which is positioned relative to the workpiece, and is supplied with an alternating electric signal. Changes in the capacitance between the electrode and the workpiece are determined by evaluation of the resultant changes in the alternating signal. The method is characterised by the following steps, (a) at least one monitoring signal is produced from the alternating signal by frequency filtering; (b) this monitoring signal is compared with a predetermined monitoring signal, (c) a status signal is generated in the case of agreement between these two monitoring signals.

USE - For production of laser-welded joints.

ADVANTAGE - Reliable monitoring of the welding process is possible without additional restrictions placed on the freedom of motion of the laser nozzle.

Dwg.1/1

Title Terms: RELIABILITY; SYSTEM; MONITOR; LASER; WELD; SYSTEM; NOZZLE; RESTRICT; COMPARE; FREQUENCY; FILTER; CAPACITANCE; BASED; MONITOR; SIGNAL ; PREDETERMINED; SIGNAL; PRODUCE; CORRECT; ACTION

Derwent Class: M23; P55; X24

International Patent Class (Main): B23K-026/00

File Segment: CPI; EPI; EngPI

Manual Codes (CPI/A-N): M23-D05; M23-G

Manual Codes (EPI/S-X): X24-D03

?



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 44 23 409 A 1

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
B 23 K 26/00

21 Aktenzeichen: P 44 23 409.0  
22 Anmeldetag: 4. 7. 94  
43 Offenlegungstag: 11. 1. 96

DE 44 23 409 A 1

71 Anmelder:  
Precitec GmbH, 76571 Gaggenau, DE

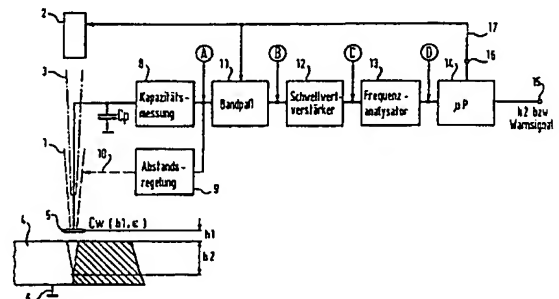
74 Vertreter:  
TER MEER-MÜLLER-STEINMEISTER & Partner,  
Patentanwälte, 81679 München

72 Erfinder:  
Wieseman, Wolf, Dr., 76571 Gaggenau, DE; Jagiella,  
Manfred, 76571 Gaggenau, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zur Bearbeitung eines Werkstücks mittels eines Laserstrahls

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bearbeitung eines Werkstücks (4) mittels eines Laserstrahls (3) unter Verwendung einer zum Werkstück (4) positionierbaren Sensorelektrode (5), an die ein elektrisches Wechselsignal angelegt wird, um eine zwischen Sensorelektrode (5) und Werkstück (4) vorhandene Meßkapazität durch Auswertung einer Änderung des Wechselsignals infolge der Meßkapazität zu ermitteln. Aus dem Wechselsignal wird durch Frequenzfilterung ein Überwachungsmeßsignal erzeugt, das mit einem vorbestimmten Überwachungsmeßsignal verglichen wird. Bei Übereinstimmung des Überwachungsmeßsignals mit dem vorbestimmten Überwachungsmeßsignal wird ein Zustandssignal erzeugt, um die Qualität einer mit Hilfe des Laserstrahls (3) durchgeführten Schweißarbeit anzuzeigen.



DE 44 23 409 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 11. 95 508 062/225

8/27

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Es ist bereits allgemein bekannt, ein Werkstück mit einem Laserstrahl zu bestrahlen, um Schweißarbeiten durchzuführen. Allerdings sind bei den herkömmlichen Laserbearbeitungsanlagen die Prozeßparameter nicht mit hundertprozentiger Sicherheit konstant zu halten. Während des Betriebes kann die Bearbeitungsqualität schon nach sehr kurzer Zeit deutlich sinken, so daß fehlerbehaftete Endprodukte entstehen.

Ein entscheidendes Qualitätskriterium beim Laserschweißen ist der Durchschweißungsgrad, der äußerlich z. B. durch das Vorhandensein und die Breite einer Nahtwurzel beurteilt werden kann. Allerdings ist für eine Kontrolle der Nahtwurzel eine Sichtverbindung zwischen Nahtwurzel und Kontrollsystem (Sensor oder Mensch) erforderlich. Diese Sichtverbindung ist in fast allen Anwendungen nicht gegeben, da die Nahtwurzel üblicherweise auf der vom Lasereintritt abgewandten Werkstückseite liegt. Auf dieser Seite sind Sensormontagen meist nur schwer und der Aufenthalt von Menschen gar nicht möglich, da diese Seite entweder auf einer Transportmechanik des Werkstücks liegt oder ins Innere eines Gehäuses, und dergleichen, weist.

Es wurden bereits optische und akustische Meßtechniken zur Ermittlung des Durchschweißungsgrads entwickelt, die sich auch von der Strahleintrittsseite aus einsetzen lassen. Hierbei hat man sich den Umstand zunutze gemacht, daß beim Lasertiefschweißen im Schmelzbad entlang des einfallenden Laserstrahls eine Dampfkapillare entsteht. Diese Kapillare entläßt den in ihr erzeugten Dampf diskontinuierlich in bestimmten Intervallen. Dabei liegen die Intervalle im Bereich von einigen hundert Hz bis ca. 1 kHz. Versuche haben gezeigt, daß die Frequenzen der Dampfabgabe in einem Werkstück bei durchschweißten Nähten und bei nicht durchschweißten Nähten voneinander verschieden sind. Um diese Frequenzen optisch oder akustisch erfassen zu können, mußten aufwendige Sensoren mit der Laserbearbeitungsdüse mitbewegt werden, was aufgrund des zusätzlichen Raumbedarfs erhebliche Probleme insbesondere bei der dreidimensionalen Werkstückbearbeitung mit sich brachte. Optische und akustische Sensoren sind darüber hinaus außerordentlich störanfällig.

Aus der DE 37 20 249 A1 ist ein weiteres Verfahren zum Schweißen oder Schneiden von Werkstücken mit Hilfe eines Laserstrahls bekannt, der über der betreffenden Bearbeitungsstelle eine Plasmawolke erzeugt. Mit Hilfe eines elektromagnetischen Feldes wird die Lage der Plasmawolke bezüglich der Bearbeitungsstelle gesteuert. Dadurch kann zum einen eine höhere Bearbeitungsgeschwindigkeit erzielt werden, wozu die Plasmawolke mit Hilfe des äußeren elektrischen Feldes auf der Bearbeitungsstelle gehalten wird. Bei einer entsprechenden Modulation des elektrischen Feldes kann der Laserstrahl periodisch unterbrochen werden, ggf. auch mit einer sehr hohen Frequenz. Weiterhin läßt sich das Verfahren dazu benutzen, die Qualität der Schweißnaht zu kontrollieren. Zu diesem Zweck wird die Lage und/oder Dichte der Plasmawolke überwacht.

Nicht zuletzt ist aus der DE-OS 26 30 795 ein Verfahren zur Bestimmung des Wertes eines Strahlintensitätssteuersignals bekannt, das der Strahlintensität an der Gravurschwelle des Materials eines Werkstücks entspricht, das in einer Vorrichtung mittels eines Laserstrahls bearbeitet werden soll. Wenigstens ein leitender

Fühler wird in der Nähe eines Teils des Werkstücks angeordnet, auf den der Laserstrahl auffällt. Der Wert des Steuersignals wird fortlaufend geändert, wobei der Stromdurchgang durch einen den Fühler enthaltenden Schaltkreis erfaßt wird, um den Wert des Steuersignals zu erfassen, bei dem eine Änderung von dem nicht ionisierten Zustand des den Teil des Werkstücks umgebenden gasförmigen Mediums in den ionisierten Zustand oder umgekehrt auftritt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Qualität von Schweißarbeiten bei der Bearbeitung eines Werkstücks mit Hilfe eines Laserstrahls von der Bearbeitungsseite her sicherer überwachen zu können, ohne daß es dabei zu einer Bewegungseinschränkung der Laserbearbeitungsdüse kommt.

Die Lösung der gestellten Aufgabe ist im kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 1 angegeben. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

Ein Verfahren zur Bearbeitung eines Werkstücks mittels eines Laserstrahls unter Verwendung einer zum Werkstück positionierbaren Sensorelektrode, an die ein elektrisches Wechselsignal angelegt wird, um eine zwischen Sensorelektrode und Werkstück vorhandene Meßkapazität durch Auswertung einer Änderung des Wechselsignals infolge der Meßkapazität zu ermitteln, zeichnet sich dadurch aus, daß aus dem Wechselsignal durch Frequenzfilterung mindestens ein Überwachungsmeßsignal erzeugt wird, dieses Überwachungsmeßsignal mit mindestens einem vorbestimmten Überwachungsmeßsignal verglichen wird und bei Übereinstimmung des Überwachungsmeßsignals mit dem vorbestimmten Überwachungsmeßsignal ein Zustandssignal generiert wird.

Vorbestimmte Überwachungsmeßsignale lassen sich z. B. auf empirischem Wege ermitteln, in dem Testschweißungen mit vorbestimmten Prozeßparametern sowie an Werkstücken durchgeführt werden, deren Eigenschaften und Abmessungen bekannt sind. Beim tatsächlichen Anwendungsfall wird dann das durch Frequenzfilterung erhaltene Überwachungsmeßsignal mit einem in Übereinstimmung mit dem Anwendungsfall geeignet ausgewählten vorbestimmten Überwachungsmeßsignal verglichen, um zu entscheiden, ob die Schweißqualität den gewünschten Anforderungen entspricht oder nicht. Stimmen das Überwachungsmeßsignal und das vorbestimmte Überwachungsmeßsignal überein, so wird das Zustandssignal ausgegeben, durch das angezeigt wird, daß die Schweißung mit der gewünschten Qualität erfolgt ist. Dabei kann der Vergleich zwischen dem momentanen Überwachungsmeßsignal und dem vorbestimmten Überwachungsmeßsignal kontinuierlich erfolgen, um eine On-line-Überwachung durchführen zu können. Es ist aber auch eine Überwachung in größeren Zeitabständen möglich, die dann periodisch erfolgt. Auch können mehrere Überwachungsmeßsignale erzeugt werden, die sich dann mit mehreren vorbestimmten Überwachungsmeßsignalen vergleichen lassen, um anhand einer Vielzahl von Vergleichsergebnissen auf die Schweißqualität rückschließen zu können, beispielsweise im Sinne einer UND-Verknüpfung, oder dergleichen. Dabei können die mehreren Überwachungsmeßsignale in unterschiedlichen Frequenzbereichen liegen, die mittels verschiedener Bandpässe definiert werden.

Nach einer sehr vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird als Frequenzfilterung mindestens eine Bandpaßfilterung ausgeführt, wobei der Bandpaß und

das vorbestimmte Überwachungsmeßsignal in Übereinstimmung mit dem gewünschten Durchschweißungsgrad des Werkstücks gewählt werden. Eine Frequenzanalyse der Überwachungsmeßsignale hat gezeigt, daß diese in Abhängigkeit des Durchschweißungsgrads in ganz bestimmten Frequenzbereichen charakteristische Eigenschaften aufweisen, so daß der Vergleich eines Überwachungsmeßsignals mit einem vorbestimmten Überwachungsmeßsignal auch nur in derartigen Frequenzbereichen zu erfolgen braucht. Dieser Vergleich kann somit in einer relativ kurzen Zeit ausgeführt werden, was insbesondere bei der On-line-Überwachung von erheblichem Vorteil ist.

Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird aus dem Überwachungsmeßsignal die Mittenfrequenz des die größte Amplitude aufweisenden Frequenzbereichs herausgesucht und mit einer das vorbestimmte Überwachungsmeßsignal darstellenden charakteristischen Frequenz verglichen, was zu einer noch sicheren Qualitätsbeurteilung des Schweißergebnisses führt. Dabei kann zuvor das Überwachungsmeßsignal mit einem vorbestimmten Signalpegel verglichen werden, um bei Abweichung des Überwachungsmeßsignals von dem vorbestimmten Signalpegel ein Statussignal, z. B. ein Fehlersignal, zu erzeugen. Versuche haben gezeigt, daß hinreichende Signalpegel im charakteristischen Frequenzbereich nur bei Vorhandensein ausreichend tiefer Dampfkapillaren bzw. Schweißlöcher entstehen, so daß bei zu kleinen Signalpegeln des erhaltenen Überwachungsmeßsignals in der Regel eine fehlerhafte Schweißung vorliegt, was durch das Statussignal angezeigt wird.

Natürlich kann auch die genannte Mittelfrequenz beim Schweißvorgang kontinuierlich oder in größeren zeitlichen Intervallen bestimmt werden, um den Vergleich mit dem vorbestimmten Signalpegel kontinuierlich oder periodisch vornehmen zu können.

Nach einer weiteren sehr vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird der jeweiligen Mittenfrequenz über eine zuvor empirisch aufgenommene Frequenz-/Schweißtiefen-Tabelle eine Einschweißtiefe zugeordnet, welche gespeichert wird. Am Ausgang einer die Schweißqualitätsüberwachung vornehmenden Einrichtung kann dann unmittelbar die Einschweißtiefe ausgegeben werden, also die Tiefe der Schweißnaht im Werkstück, was bei manchen Anwendungen benötigt wird. So kann nach einer anderen Ausgestaltung der Erfindung die jeweilige Mittenfrequenz bzw. Einschweißtiefe mit einer Soll-Mittenfrequenz bzw. Soll-Einschweißtiefe verglichen werden, um in Abhängigkeit dieses Vergleichs die Prozeßparameter zu ändern. Ein Beispiel wäre die Änderung der Einschweißtiefe ab einem bestimmten Ort, wo sich Dicke oder Materialeigenschaften des Werkstücks ändern. Um der neuen Einschweißtiefe Rechnung zu tragen, ließe sich z. B. als Prozeßparameter die Laserleistung entsprechend verändern. Soll eine entsprechend große Änderung der Einschweißtiefe erfolgen, so muß natürlich auch der charakteristische Frequenzbereich entsprechend verschoben werden. Geeignete Tabellen können auf empirischem Wege zuvor ermittelt werden.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die einzige Figur näher beschrieben.

Durch eine Laserbearbeitungsdüse 1 wird ein von einem Laser 2 erzeugter Laserstrahl 3 in Axialrichtung hindurchgeführt, der auf ein Werkstück 4 fokussiert ist. Die Laserbearbeitungsdüse 1 trägt an ihrer Spitze eine

Sensorelektrode 5, die z. B. aus Kupfer besteht. Diese Sensorelektrode 5 kann dabei den Laserstrahl 3 konzentrisch umgeben und ist zu diesem Zweck z. B. ringförmig ausgebildet. Sie bildet zusammen mit dem Werkstück 4 eine werkstückbezogene und abstandsabhängige Kapazität  $C_w$ .

Das Werkstück 4 selbst liegt auf Erdpotential über einen geeigneten Erdanschluß 6. Dagegen ist die Sensorelektrode 5 über eine Leitung 7 mit dem Eingang einer Kapazitätsmeßeinrichtung 8 verbunden. Zwischen deren Eingang und Erde liegt eine parasitäre Kapazität  $C_p$ .

Der Aufbau der Kapazitätsmeßeinrichtung 8 ist allgemein bekannt und soll hier nicht im einzelnen beschrieben werden. Sie enthält z. B. eine Konstantwechselstromquelle, die einen Effektivstrom von etwa 100 nA liefert. Über diese Konstantwechselstromquelle wird die Leitung 7 mit einem Wechselstrom gespeist, der eine Frequenz im Bereich von 10 kHz bis ca. 100 kHz aufweist. Entspricht der aus Werkstück 4 und Sensorelektrode 5 gebildete Meßkondensator einem idealen Plattenkondensator, so ist der Effektivwert der an ihm abfallenden Wechselspannung direkt proportional zum Abstand der Sensorelektrode 5 vom Werkstück 4 und umgekehrt proportional zur werkstückbezogenen Kapazität  $C_w$ .

Eine an der werkstückbezogenen Kapazität  $C_w$  abfallende Wechselspannung kann über einen zur Kapazitätsmeßeinrichtung 8 gehörenden Gleichrichter gleichgerichtet und durch einen ebenfalls zur Kapazitätsmeßeinrichtung 8 gehörenden Tiefpaßfilter in eine Gleichspannung bzw. ein Gleichsignal umgewandelt werden. Diese Gleichspannung am Ausgang des Tiefpaßfilters gelangt zum Ausgang der Kapazitätsmeßeinrichtung 8 bzw. zu dem in der Figur dargestellten Knotenpunkt A.

Dabei wird das Gleichsignal vom Knotenpunkt A einerseits dem Eingang einer Abstandsregelschaltung 9 zugeführt, die ihrerseits in Übereinstimmung mit dem empfangenen Gleichsignal über einen Stellmechanismus 10 den Abstand zwischen der Laserbearbeitungsdüse 1 bzw. der Sensorelektrode 5 und dem Werkstück 4 einstellt, z. B. konstant hält. Auch diese Abstandsregelschaltung ist allgemein bekannt und wird an dieser Stelle nicht näher erläutert.

Andererseits wird die Gleichspannung am Ausgang der Kapazitätsmeßeinrichtung über den Knotenpunkt A einem Bandpaßfilter 11 zugeführt. Dessen Ausgang ist mit dem Eingang eines Schwellwertverstärkers 12 verbunden, der mit seinem Ausgang am Eingang eines Frequenzanalysators 13 liegt. Ein Ausgang des Frequenzanalysators 13 ist mit einem Eingang eines Mikroprozessors 14 verbunden, der einen Signalausgang 15 und einen Steuerausgang 16 aufweist, welcher über eine Leitung 17 mit einem Steuereingang des Lasers 2 verbunden ist.

Die Kapazitätsmeßeinrichtung 8 muß nicht unbedingt die genannte Konstantwechselstromquelle aufweisen. Alternativ kann in ihr das elektrische Wechselsignal auch durch einen Schwingkreis erzeugt werden, der durch die Meßkapazität und eine Induktivität gebildet wird. Dabei wird zur Erzeugung des Gleichsignals, das später am Knotenpunkt A erscheint, die Frequenz des Schwingkreises einem Frequenz-/Gleichspannungswandler zugeführt, wobei dann das genannte Gleichsignal zur Abstandsregelung verwendet wird. Dasselbe Gleichsignal wird andererseits zur weiteren Frequenzfilterung dem Bandpaß 11 zugeführt, um in derselben Weise, wie zuvor beschrieben, verarbeitet zu werden.

Nachfolgend wird die Wirkungsweise der in der Figur gezeigten Schaltung näher erläutert. Dabei wird zunächst auf die wesentlichen Kapazitätskomponenten eingegangen.

Die parasitäre Kapazität  $C_p$  wird hauptsächlich durch Leitungskapazitäten bestimmt, wird aber auch beeinflusst durch Kontaktelemente der Laserbearbeitungsdüse 1 und durch die Topographie in der Umgebung der Laserbearbeitungsdüse 1, beispielsweise durch das Vorhandensein von Spannpratzen, und dergleichen.

Dagegen bestimmt sich die werkstückbezogene Kapazität  $C_w$  durch den Abstand  $h_1$  zwischen Werkstück 4 und Sensorelektrode 5, durch die Materialart des Werkstücks 4 (Leiter oder Nichtleiter) und durch Substanzen, die zwischen Werkstück 4 und Sensorelektrode 5 vorhanden sind. Hier kann es sich um neutrale Gase (Luft oder Schutzgas), um ein Plasma (Werkstoffdampf, Dampf von Oberflächenverunreinigungen oder Zusatzmaterial) oder um Schmelzspritzer handeln. Die werkstückbezogene Kapazität  $C_w$  wird also einerseits von dem genannten Abstand  $h_1$  und andererseits durch eine resultierende Dielektrizitätszahl  $\epsilon$  bestimmt und läßt sich wie folgt schreiben:  $C_w = C_w(h_1, \epsilon, \dots)$ .

Die resultierende Dielektrizitätszahl  $\epsilon$  selbst ist abhängig von der Dichte der Ladungsträger im Plasma. Diese wiederum variiert in Abhängigkeit einer Vielzahl von Parametern, wie z. B. a) der Existenz und Stärke einer prozeßbedingten Gasströmung, b) der Existenz, Materialart und Menge von Zusatzwerkstoffen, c) der Art der Präparation der Fugen (Form, Breite), d) der Existenz, Materialart und Menge von Oberflächenbelegungen des Werkstücks, e) der Materialart des Werkstücks bzw. der Art seiner Legierungsbestandteile, f) der auf das Werkstück und das Plasma einwirkenden Laserleistungsdichte, und g) der Vorschubgeschwindigkeit der Laserbearbeitungsdüse 1. Außerdem hängt die Dichte der Ladungsträger im Plasma auch von der Tiefe  $h_2$  der beim Laserschweißen entstehenden Dampfkapillare im Werkstück 4 ab.

Die resultierende Dielektrizitätszahl läßt sich also durch den folgenden Ausdruck  $\epsilon = \epsilon(h_2, a \text{ bis } g, \dots)$  darstellen.

Das Plasma entsteht in der Dampfkapillare, die sich beim Lasertiefschweißen entlang der Laserstrahlrichtung innerhalb des Werkstücks 4 ausbildet. Diese Dampfkapillare stößt das Plasma nicht kontinuierlich sondern gepulst aus. Das Pulsfrequenzspektrum weist in der Regel eine besonders starke Linie auf, die als charakteristische Pulsfrequenz bezeichnet wird. Diese charakteristische Pulsfrequenz  $f$  ist von der Tiefe  $h_2$  der Einschweißung abhängig. Die resultierende Dielektrizitätszahl  $\epsilon$  ist daher mit der charakteristischen Pulsfrequenz  $f$  moduliert. Dies läßt sich durch den Ausdruck  $\epsilon = \epsilon - m(f)$  darstellen, wobei  $f = f(h_2)$  ist.

Erfolgt nun mit Hilfe der oben beschriebenen Kapazitätsmeßeinrichtung 8 eine Kapazitätsmessung, so wird zunächst eine Spannung erhalten, die mit den Teilkapazitäten  $C_w$  und  $C_p$  variiert. Diese Spannung läßt sich durch den Ausdruck  $U = U(C_w, C_p)$  darstellen. Auch das schließlich am Ausgang der Kapazitätsmeßeinrichtung 8 bzw. am Knotenpunkt A vorhandene Gleichsignal enthält noch Wechselkomponenten, die mit  $C_w$  und  $C_p$  variieren. Wird daher dieses Gleichsignal dem Bandpaß 11 zugeführt, so lassen sich die genannten Wechselkomponenten herausfiltern. Der Bandpaß 11 ist so gewählt, daß der Bereich der charakteristischen Pulsfrequenz hindurchgelassen wird. Die Fluktuationsfrequenzen der anderen das Plasma beeinflussenden Größen (sofern diese

überhaupt periodisch variieren) liegen in der Regel außerhalb dieses Bereichs und hauptsächlich bei tieferen Frequenzen.

Daher ist das Wechselspannungssignal am Knotenpunkt B am Ausgang des Bandpaßfilters 11 im wesentlichen nur noch geprägt durch die resultierende Dielektrizitätszahl  $\epsilon$ , was durch folgenden Ausdruck  $U_B = U(\epsilon)$  dargestellt werden kann.

Nur wenn die Schweißkapillare hinreichend ausgeprägt bzw. tief ist, gibt es eine deutliche Modulation von  $\epsilon$  im Bereich der charakteristischen Pulsfrequenz. Das Überschreiten eines bestimmten, fallweise festzulegenden Signalpegels ist somit ein Indiz für das Fehlen einer hinreichend ausgeprägten Schweißkapillare, also für eine fehlerhafte Schweißung. Der Vergleich des am Ausgang des Bandpaßfilters 11 erscheinenden Wechselspannungssignals  $U_B$  mit dem vorbestimmten Signalpegel erfolgt daher mittels eines Schwellwertverstärkers 12, dessen Eingang mit dem Ausgang des Bandpaßfilters 11 verbunden ist. Am Ausgang des Schwellwertverstärkers 12 erscheint so ein Signal  $U_C = 0$ , wenn keine hinreichend ausgebildete Schweißkapillare vorhanden ist, und ein Signal  $U_C = U(\epsilon) - m(f)$  bei hinreichend groß ausgebildeter Schweißkapillare.

Das Signal am Knotenpunkt C wird anschließend dem Frequenzanalysator 13 zugeführt. Hier handelt es sich vorzugsweise um einen parallel arbeitenden Frequenzanalysator, der mehrere Filterbänke, oder dergleichen, aufweisen kann. In ihm wird das anliegende Frequenzband analysiert und es wird die Mittenfrequenz des Frequenzbereichs mit der größten Amplitude an seinem Ausgang bzw. zum Knotenpunkt D ausgegeben. Diese Frequenz ist in der Regel die charakteristische Pulsfrequenz  $f$ .

Aus einer zuvor für die jeweils anliegende Schweißaufgabe experimentell ermittelten und abgespeicherten Prozeßtabelle wird der charakteristischen Pulsfrequenz  $f$  die aktuelle Einschweißtiefe  $h_2$  On-line zugeordnet und zur Dokumentation und ggf. zur Auslösung einer Störungswarnung zum Signalausgang 15 ausgegeben. Für den Fall, daß die so ermittelte Einschweißtiefe  $h_2$  mit einer im Mikroprozessor 14 gespeicherten Soll-Einschweißtiefe verglichen wird, um bei Abweichung die Einschweißtiefe verändern zu können, kann über den Steuerausgang 16 und die Leitung 17 ein entsprechendes Stellsignal zum Laser 2 gegeben werden, um dessen Laserleistung zu verändern.

Gleichzeitig kann dieses Stellsignal über die Leitung 17 auch zum Bandpaßfilter 11 geliefert werden, um hier den Bandpaß in Übereinstimmung mit der neuen Einschweißtiefe zu verändern.

Nach einer Abwandlung der Erfindung kann auf die Abstandsregelschaltung 9 auch verzichtet werden, beispielsweise dann, wenn die Laserbearbeitungsdüse 1 durch andere Mittel in konstantem Abstand zum Werkstück 4 gehalten wird, beispielsweise durch Laufrollen, usw. In diesem Fall braucht die Kapazitätsmeßeinrichtung 8 keine Gleichrichtereinrichtung und keinen Tiefpaßfilter (z. B. im Bereich von z. B. 100 Hz bis 3 kHz) zu enthalten. Zur Kapazitätsmessung können generell die bekannten Verfahren herangezogen werden, beispielsweise Trägerfrequenzverfahren, Modulationsverfahren und Pulsladeverfahren.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Bearbeitung eines Werkstücks (4) mittels eines Laserstrahls (3) unter Verwendung ei-

ner zum Werkstück (4) positionierbaren Sensorelektrode (5), an die ein elektrisches Wechselsignal angelegt wird, um eine zwischen Sensorelektrode (5) und Werkstück (4) vorhandene Meßkapazität durch Auswertung einer Änderung des Wechselsignals infolge der Meßkapazität zu ermitteln, dadurch gekennzeichnet, daß

- aus dem Wechselsignal durch Frequenzfilterung mindestens ein Überwachungsmeßsignal erzeugt wird;
- dieses Überwachungsmeßsignal mit mindestens einem vorbestimmten Überwachungsmeßsignal verglichen wird; und
- bei Übereinstimmung des Überwachungsmeßsignals mit dem vorbestimmten Überwachungsmeßsignal ein Zustandssignal generiert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Frequenzfilterung mindestens eine Bandpaßfilterung ausgeführt und der Bandpaß sowie das vorbestimmte Überwachungsmeßsignal in Übereinstimmung mit einem gewünschten Durchschweißungsgrad des Werkstücks (4) gewählt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem Überwachungsmeßsignal die Mittenfrequenz des die größte Amplitude aufweisenden Frequenzbereichs herausgesucht und mit einer das vorbestimmte Überwachungsmeßsignal darstellenden charakteristischen Frequenz verglichen wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Überwachungsmeßsignal mit einem vorbestimmten Signalpegel verglichen und bei Abweichung des Überwachungsmeßsignals von dem vorbestimmten Signalpegel ein Statussignal erzeugt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die genannte Mittenfrequenz beim Schweißvorgang kontinuierlich oder in Intervallen bestimmt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der jeweiligen Mittenfrequenz über eine zuvor empirisch aufgenommene Frequenz/Schweißtiefen-Tabelle eine Einschweißtiefe (h2) zugeordnet wird, welche gespeichert wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die jeweilige Mittenfrequenz bzw. Einschweißtiefe (h2) mit einer Soll-Mittenfrequenz bzw. Soll-Einschweißtiefe verglichen wird, um in Abhängigkeit des Vergleichs die Prozeßparameter zu ändern.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß zunächst aus dem Wechselsignal ein elektrisches Gleichsignal generiert wird, das dem Abstand zwischen Sensorelektrode (5) und Werkstück (4) entspricht, und daß aus dem Gleichsignal durch Frequenzfilterung das Überwachungsmeßsignal erzeugt wird.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

